

IV-15

エアレーション実験におけるスケール効果について

京都大学工学部 正員 工修 宗宮 功
京都大学工学部 学生員 ○藤原正弘

緒言 下水処理において 操作費用の相当部分がさかれるばつ気については 経済的なばつ気法の開発という面から、かなり研究かなされつつある。ばつ気槽のばつ気機構を実際規模の槽で考察するのは理想であるが、これは実際には困難である。したがって多くの場合、実際槽をスケール・ダウンした模型槽を用いて実験を行ない、この装置の特性から実際規模の特性を予想しようとする。しかし、ここで得られた結果はそのまま実際槽に適用できないことはいうまでもない。したがって実験槽と実際槽との間の関係、すなわち、スケール効果かどのよう表示されるかを考察することとは 研究を実際面に役立たせるために、非常に大切なことである。スケールアップの基準になる仮定として、実験槽は幾何学的に相似とし、その実験槽で得られる結果と同じ酸素供給能(PPM_{hr})をうるには、実際槽において、何倍の空気速度を必要とするかを考察してみた。

スケールアップに関する算定式

(I) 合葉か醸酵槽用に提案した式 実験槽には添字m 実際規模のものにはPを附すことにする。スケールアップの目安としては、この場合 $(k_L A_p)_m = (k_L A_p)_p$ とし、総括容量係数 $k_L A_p$ は気泡による $(k_L A_p/V)$ と大気にによる $(k_L A_s/V)$ の二つを考え、P槽においては、
 $k_{Lb} A_p/V \gg k_{Ls} A_p/V$ とし、さらに $(k_L)_p = (k_L)_m$ と仮定する。ここで、 $\alpha = (k_L A_s/k_L A_b)_m$ とおけば、
 $\beta = (G/V)_p / (G/V)_m = \gamma^{(n-2)/(2-3n)} (1+\alpha)^{2/(2-3n)}$... (1)

となる。この β は実際槽の実験槽に対する単位液量当たりの吹き込み空気量の比であり、 γ は縮尺率である。図-1 は $n=1/6$ を実験値から推定し、 $\beta-\gamma$ の関係を表わしたものである。
 (II) King の式からみたスケールアップ ここではスケールアップの目安として M槽と P槽の酸素吸收能(PPM_{hr})は等しい、すなわち $(k_L a U)_m = (k_L a U)_p$ とする。ここで U は酸素不足量(ppm)を示す。散気板面積対槽表面積比 % に対して

$$A (PPM_{hr}) = 0.0175 C H^{0.75} U^Y R^N (1.024)^T / d^{0.70} \quad \dots \dots (2)$$

A = $k_L a U$ であるが、ここで実験式、d の $d^{0.70}$ が成立するものとすると β は
 $\beta = (V_{ap}/V_{am}) = 2.25 \gamma^{-0.915} U^{2.08} (H_m^{-0.1} - H_p^{-0.1}) \cdot V_{am}^{0.118} \quad \dots \dots (3)$

図-2 は $\beta-\gamma$ の関係を、 $H_m = 45.0\text{cm}$ に対して図示したものである。

(III) 総括容量係数からの推定 (II) と同様 $A_m = A_p$ としてスケールアップを考える。酸素供給能については $A = k_L a U = (k_{Lb} A_b + k_{Ls} A_s) \frac{U}{V}$ したがって

$$(k_{Lb} A_b + k_{Ls} A_s)_p / (k_{Lb} A_b + k_{Ls} A_s)_m = (U_p/U_m) (V_p/V_m) \quad \dots \dots (4)$$

$(k_{Ls})_p = (k_{Ls})_m$ と仮定し、また $k_{Lb} = \alpha H^{-\delta}$ を与え、さらに $\alpha = (k_{Ls} A_s/k_{Lb} A_b)_m$ とすれば、
 $(1/\alpha)(H_p/H_m)^{\delta} (A_b p/A_b m) + \alpha (A_s p/A_s m) = (U_p/U_m) (V_p/V_m) \quad \dots \dots (5)$

となる。気泡の全接触面積は、M槽およびP槽における気泡のホールドアップ傾向が一定であると仮定すると、実験式より、 $A_b = \alpha H^{-\delta} V_a^{0.58} V$ と表わされることから

$$A_{sp}/A_{sm} = (V_p/V_m)(U_{ap}/U_{am})^{0.581} = (V_p/V_m)(H_p/H_m)^{0.581}(U_{ap}/U_{am})^{0.581} = \beta^{3.581}(U_{ap}/U_{am})^{0.581} \quad \dots (6)$$

となる。水表面の接触面積は、単位面積あたりの供給能は流速の 1.75 乗に比例するとする考え方を用い、槽表面積を α とあらわすと、 $(A_{sp}/A_{sm}) = (U_{ap}/U_{wn})^{1.75}(\alpha_p/\alpha_m) \quad \dots (7)$

さらに表面流速については、旋回流

の槽一循環時間から考察すると、

$$(U_{ap}/U_{wn}) = (\alpha'_p/\alpha_p) \beta (U_{ap}/U_{am})^{0.385} \quad \dots (8)$$

という関係式を得、式(7)に代入す

$$\text{と } A_{sp}/A_{sm} = (\alpha'_p/\alpha_p)^{1.75} \beta^{3.581} (U_{ap}/U_{am})^{0.684} \quad \dots (9)$$

となる。以上式(6)と式(9)を式(5)に代

入し、さらにその式において、

$$U = C_s(1 + H/2068) \text{ と表わし。} M$$

槽と P 槽の温度は同一とする

$$\beta^{0.581} + \alpha \beta^{0.169} (\alpha'_p/\alpha_p)^{1.75} (U_{ap}/U_{am})^{0.684} \\ = (H\beta)^{0.581} / (2068 + H_m) / (2068 + H_p) \quad \dots (10)$$

$\beta = \alpha$ 、実験値と King のデータから、

$$\alpha'_p = 3.12, \alpha_p = 6.20 \text{ を用いると } \alpha'_p/\alpha_p = 0.503$$

となる。また α の値については、Ippen のデータから推定すれば、 $\alpha = 0.357$ として与え

られている。式(10)に代入すれば

$$\beta^{0.581} + 0.302 \alpha \beta^{0.526} \beta^{0.684} \\ = (H\beta)^{0.581} / (2068 + H_m) / (2068 + H_p) \beta^{-0.224} \quad \dots (11)$$

上式において α を与え、また所定の α を与えれば β は計算される。図-3 は α をパラメーターとして、 $H_m = 45.0 \text{ cm}$ に対する β との関係を示している。

考察 以上スケールアップ効果を三つの角度からみてきた。図-1 は図-3 の場合よりも幾分多量の空気が要ると思われるが安全側であろう。また一方 図-2 からは、 $\alpha = 10$ で $\beta = 0.357 \sim 0.5$ となる。図-3 は α が 10 前後で α のいかんにかかわらず $\beta = 0.28 \sim 0.34$ である。また α がより小さい場合は β の増加に応じ相対的に多量の空気を要することを示し、合葉の示した傾向と一致するか、それ以上においては、逆に α が大になるとほど空気量は少なくするなどを示している。

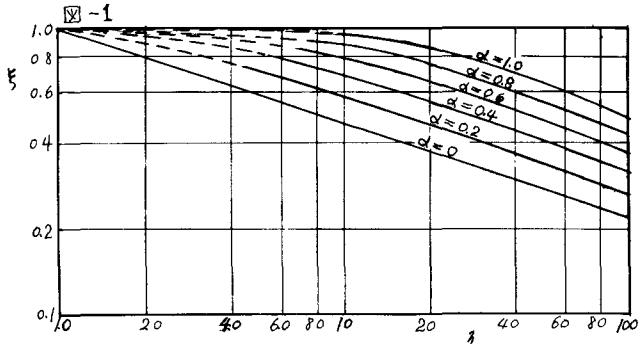


図-1

β - α 関係図 ($H_m = 45.0 \text{ cm}$)

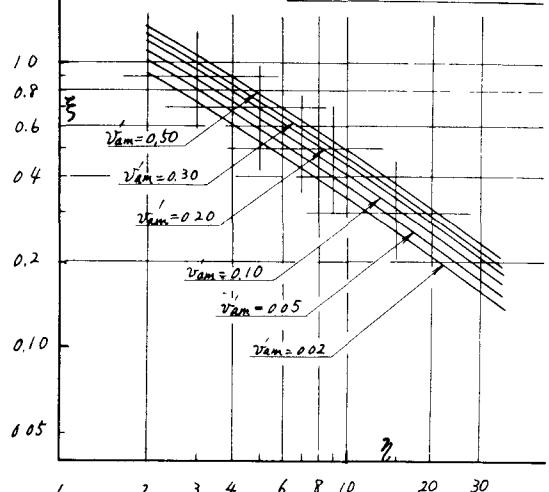


図-2

β - α 関係図 ($H_m = 45.0 \text{ cm}$)

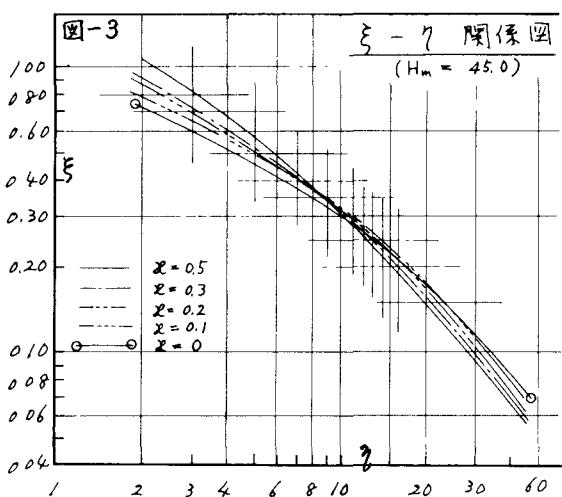


図-3

β - α 関係図 ($H_m = 45.0 \text{ cm}$)